礫床緩勾配の台形断面水路における流速分布に対する側壁勾配の影響

日本大学理工学部土木工学科　正会員　安田陽一
日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻　学生会員　○小林泰士

１．はじめに

河川と接続する水路に求められる機能としては，平水時から豊水時にかけての流量変化に対しては，水生生物の移動・休息のできる環境を確保し[1)]，洪水時には適切に排水機能を向上させることが重要である．さらに，輸送される礫の堆積や掃流に伴う維持管理の容易さも重要である．

都市河川に着目してみると河川幅が制限されており，砂礫底面を有する二面張水路となっている場合が多く存在する．底面が水平な場合には，洪水流を速やかに排出することができ，治水上有効な断面と言える．しかし，平水時においては水深の確保および水温管理が困難であるため水生生物を考慮した河道断面ではない．一方で，複断面とすることで平水時の水深を確保し，水生生物が移動できる環境としている場合もあるが，高水敷が樹林化し洪水時に水深を過剰に堰上げている事例がある．

平水時から豊水時にかけて，水生生物の移動・休息のできる環境を確保し，洪水時には適切に排水機能を向上させるために，笹木らは船底形断面河道が治水と環境が調和した河道断面であると結論付けている[2),3)]．しかし，治水と環境が調和した適切な河床横断勾配の大きさや，勾配変化が流況に及ぼす影響は明らかになっていない．

そのため，底面に礫を用いた緩勾配台形断面水路を提案した[4)]．緩勾配台形断面の特徴としては，平水時から豊水時までの流量変化に対しては，横断方向に流速および水深が変化し多様な水生生物の移動・休息が可能であり，洪水時においても最大流速及び底面流速が小さくなる．ここでは，緩勾配水路に礫を用いた緩勾配台形断面河道を設置し，流量規模が豊水時より大きい小規模な洪水を想定し，台形断面形状を変化させ，疑似等流状態の流速分布および水深の変化について実験的に検討した．

２．実験条件

長方形断面水平水路(幅 80 cm 高さ 60 cm 長さ 15 m)において，等流状態の流れが常流である場合を対象とする．ここで想定している水路は二面張水路であり，広範囲の流量変化に対して安全性を確保できるものとしている．緩勾配台形断面河道の形状の効果を検討するために，河床横断勾配および水路勾配を変化させた実験条件を**表１**に示す．河床材料として 0.8～3 cm 径の中礫を混合したものを設置した．緩斜面台断面形状が成形されやすいようにするため，河床横断勾配が大きい場合には両側に 3～5 cm 径の中礫を埋め込むように設置した．緩勾配台形断面河道であることを仮定した定義図を**図１**に示す．疑似等流が形成されるように，礫の設置区間は 7.2 m とした．礫を設置した区間の河道内の流れを検討するために，河床形状，水深および流下方向の流速の測定を行った．河床形状については，横断方向に 0.1m 間隔で 7 ヶ所と左岸側の壁際を測定し，流下方向に 2m 間隔に 3 ヶ所で測定をした．水深測定について，ポイントゲージを用いて水路中央部を流下方向に 0.5m 間隔に 15 ヶ所で測定した．河道内の流下方向の流速を計測するために，水深測定から擬似等流区間を判断し，KENEK 製の I 型電磁流速計を用いて水路中央から左岸側に５箇所で測定した(採取時間 20sec)．

図１　緩勾配台形断面歌道の定義図

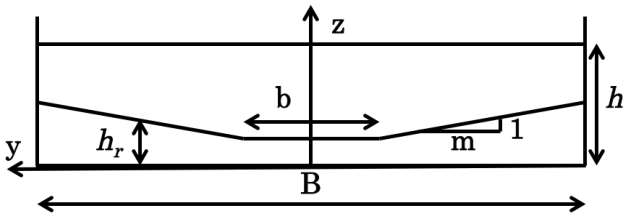

表１　実験条件

$1/m$	b/B	Fr	i
0.00	1.00	0.558	1/1200
0.0585	0.250	0.573	1/1200
0.110	0.250	0.590	1/1200
0.156	0.250	0.596	1/1200
0.212	0.250	0.599	1/1200
0.00	1.00	0.578	1/600
0.0585	0.250	0.598	1/600
0.108	0.250	0.611	1/600
0.152	0.250	0.614	1/600
0.212	0.250	0.625	1/600

キーワード　二面張水路，礫床河川，洪水時，河床横断勾配，治水，環境
連絡先　〒101-8308　東京都千代田区神田駿河台 1-8，TEL : 03-3259-0409，Email : yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

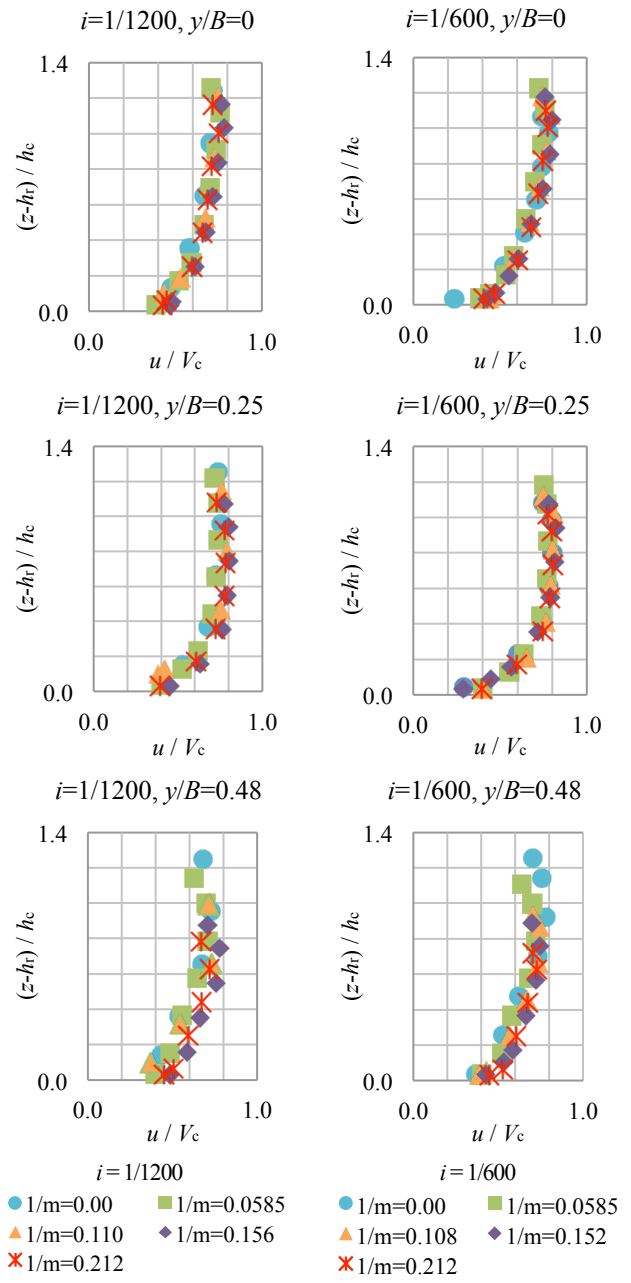

図２　無次元流速分布

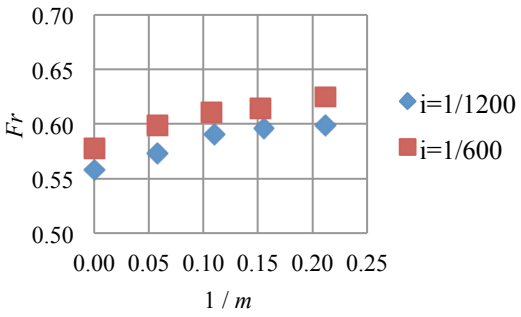

図３　河床横断勾配に対するフルード数の変化

３．流速分布に対する形状効果の影響

河床横断勾配 $1/m$ を変化させ，横断方向の相対距離 y/B，水路勾配 i ごとに，礫天端からの鉛直距離を表す無次元量 $(z-h_r)/h_c$ に対する流速比を表す無次元量 u/V_c を**図２**に示す．河床横断勾配 $1/m$ に対するフルード数 Fr の変化を**図３**に示す．ここに，y は水路中央部からの水平方向距離，z は底盤からの鉛直方向距離，B は水路幅，h は擬似等流状態の底盤からの水位，h_r は底盤からの礫天端までの鉛直距離，h_c,V_c は各河床断面形状における礫天端からの限界水深および限界流速，u は各測定点での流速の実験値である．

図２に示した無次元流速分布から，河床横断勾配 $1/m$ が大きくなることに伴い速い流れが相対的に下方に位置する傾向があり，横断方向の相対距離 y/B が大きくなるほどその傾向は顕著に見られることがわかる．また，水路勾配 i を変化させたものを比較すると，水路勾配 i が大きくなると河床横断勾配 θ の変化に伴う流速分布の差異は小さくなることがわかる．y/B=0.48 においてはこれらの傾向が特に顕著に見られており，河床横断勾配 θ を過剰に大きくすることは，側壁底面付近に速い流れが形成され，側岸侵食の要因となる．

図３に示した河床横断勾配の変化に対するフルード数の変化を示したグラフから河床横断勾配 θ が大きくなると，フルード数 Fr は上昇する．水路中央部の水深は増加するものの，流積は減少していることがわかっており，側壁勾配を大きくするとともに内部渦が強くなり流積が減少したものと考えられる．

図中の流速分布において，速度勾配が大きい底面付近のデータの測定間隔が大きく，傾向の予測が一部困難であるが，他の流速分布と同様な傾向となることが考えられる．

４．まとめ

緩勾配水路に礫を用いた緩勾配台形断面河道を設置し，流量規模が洪水時を想定し，河床横断勾配および水路勾配を変化させ，疑似等流状態の流速分布および水深の変化について実験的に検討した結果，河床横断勾配を大きくすると，側壁に付近で速い流れが底面付近に位置し側岸侵食の要因となることがわかった．また，河床横断勾配を大きくしていくと，過剰に水位を積上げる要因となるため，治水・環境の両面を考慮した河床断面とするためには，河床横断勾配 $1/m < 0.1$ とすることが有効であると考える．

参考文献

1) 安田陽一,技術者のための魚道ガイドライン-魚道構造と周辺の流れからわかること-,コロナ社,150 pages,2011.
2) 笹木拓真,宮原幸嗣,福岡捷二,複断面から船底形断面河道への改修による洪水流況及び低水路河床高の変化,河川技術論文集,第 20 巻,pp.277-282,2014.6.
3) 福岡捷二,温暖化に対する河川の適応技術のあり方-治水と環境の調和した多自然川づくりの普遍化に向けて-,土木学会論文集 F,vol.66,No4,pp.471-489,2010.
4) 安田陽一,小林泰士,ボックスカルバート内の流速分布に対する断面形状の影響,土木学会第 70 回年次学術講演会,Ⅱ-47,CD-ROM, 2015.